

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:)
)
Kouichi SHIMAMURA, et al.)
) Group Art Unit: Unassigned
Serial No.: To be assigned)
) Examiner: Unassigned
Filed: March 9, 2001)
)
For: THREE-DIMENSIONAL MODEL)
ANALYZING APPARATUS)
DETECTING AND SMOOTHING)
EDGES BEFORE ANALYTIC)
OPERATION)



SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN
APPLICATION IN ACCORDANCE
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. §1.55

Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. §1.55, the applicant submits herewith a certified copy of the following foreign application:

Japanese Patent Application No. 2000-174926

Filed: June 12, 2000.

It is respectfully requested that the applicant be given the benefit of the foreign filing date as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the requirements of 35 U.S.C. §119.

Respectfully submitted,
STAAS & HALSEY LLP

Date: March 9, 2001

By: _____

James D. Halsey, Jr.
Registration No. 22,729

700 11th Street, N.W., Ste. 500
Washington, D.C. 20001
(202) 434-1500

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

JC973 U.S. PTO
09/803152
03/12/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application:

2000年 6月12日

出 願 番 号
Application Number:

特願2000-174926

出 願 人
Applicant (s):

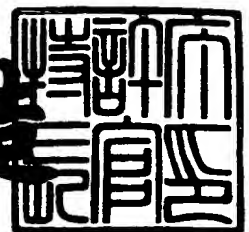
株式会社富士通長野システムエンジニアリング

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

2001年 1月 5日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2000-3110366

【書類名】 特許願

【整理番号】 9952128

【提出日】 平成12年 6月12日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G06T 17/20

【発明の名称】 3次元モデル解析装置

【請求項の数】 6

【発明者】

 【住所又は居所】 長野県長野市大学鶴賀字鍋屋田1403番地3 株式会
社富士通長野システムエンジニアリング内

 【氏名】 島村 広一

【発明者】

 【住所又は居所】 長野県長野市大学鶴賀字鍋屋田1403番地3 株式会
社富士通長野システムエンジニアリング内

 【氏名】 上村井 玄

【特許出願人】

 【識別番号】 399101348

 【氏名又は名称】 株式会社富士通長野システムエンジニアリング

【代理人】

 【識別番号】 100092152

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 服部 毅巖

 【電話番号】 0426-45-6644

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 009874

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1
【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 3次元モデル解析装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 3次元モデルの物理的な特性を解析する3次元モデル解析装置において、

処理の対象となる3次元モデルを入力する入力手段と、

前記入力手段から入力された3次元モデルのエッジを検出するエッジ検出手段と、

前記エッジ検出手段によって検出されたエッジを平坦化する平坦化手段と、

前記平坦化手段によってエッジが平坦化された3次元モデルに対して、有限要素法による解析処理を施す解析処理手段と、

を有することを特徴とする3次元モデル解析装置。

【請求項2】 前記エッジ検出手段は、所定の角度以下のエッジのみを検出することを特徴とする請求項1記載の3次元モデル解析装置。

【請求項3】 前記平坦化手段は、前記エッジを所定の曲率半径を有する曲面に変更することを特徴とする請求項1記載の3次元モデル解析装置。

【請求項4】 前記解析処理手段は、前記曲率半径よりも短い辺から構成される六面体によって前記3次元モデルを複数の部分に分割した後、有限要素法による解析処理を施すことを特徴とする請求項3記載の3次元モデル解析装置。

【請求項5】 前記六面体による前記3次元モデルの分割数を変更する分割数変更手段を更に有し、

前記解析処理手段は、前記分割数変更手段によって分割数を増加していった場合に、算出される物理量が有する極大値を参照して収束値を決定する、

ことを特徴とする請求項1記載の3次元モデル解析装置。

【請求項6】 3次元モデルの物理的な特性を解析する処理をコンピュータに機能させるプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体において、

コンピュータを、

処理の対象となる3次元モデルを入力する入力手段、

前記入力手段から入力された 3 次元モデルのエッジを検出するエッジ検出手段

前記エッジ検出手段によって検出されたエッジを平坦化する平坦化手段、

前記平坦化手段によってエッジが平坦化された 3 次元モデルに対して、有限要素法による解析処理を施す解析処理手段、

として機能させるプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は 3 次元モデル解析装置に関し、特に、3 次元モデルの物理的な特性を解析する 3 次元モデル解析装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

構造力学、電場理論および流体力学に用いられる連続的物理系の研究のための近似計算法として有限要素法がある。

【0003】

有限要素法では、対象物である 3 次元モデルを複数の小部分（有限要素）に分割し、個々の要素における関数の近似を行い、目的となる代数方程式を得ている。

【0004】

ところで、従来においては、解析対象をマニュアル操作によって複数の要素に分割していた。その際、解析対象の形状が急激に変化する部分は、応力集中が発生しやすいので細かく分割し、一定形状が連続する部分は荒く分割することが一般的である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、解析結果は分割の態様に依じて異なる場合があることから、このような方法では、操作者の熟練の度合いに応じて解析結果が変化するという問

題点があった。

【0006】

そこで、そのような問題点を解決するために、VOXEL法と呼ばれる手法が提案されている。VOXEL法では、解析対象をVOXELと呼ばれる同一形状を有する複数の六面体に分割して解析を行う。その結果、解析対象は同一形状の要素に分解されるので解析処理が容易になり、また、同一形状であるのでソフトウェアによって解析対象を自動的に分割することも可能になる。

【0007】

しかしながら、VOXEL法では、解析対象のエッジ部分が特異点となり、解析結果の精度が低下する場合があるという問題点があった。なお、特異点とは、曲線が、そこで滑らかに変わる接線をもたない点をいう。

【0008】

本発明はこのような点に鑑みてなされたものであり、有限要素法による解析において、操作者の熟練の度合いに関わりなく精度の高い解析結果を得ることが可能な3次元モデル解析装置を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】

本発明では上記課題を解決するために、図1に示す、3次元モデルの物理的な特性を解析する3次元モデル解析装置1において、処理の対象となる3次元モデルを入力する入力手段1aと、前記入力手段1aから入力された3次元モデルのエッジを検出するエッジ検出手段1bと、前記エッジ検出手段1bによって検出されたエッジを平坦化する平坦化手段1cと、前記平坦化手段1cによってエッジが平坦化された3次元モデルに対して、有限要素法による解析処理を施す解析処理手段1dと、を有することを特徴とする3次元モデル解析装置が提供される。

【0010】

ここで、入力手段1aは、処理の対象となる3次元モデルを入力する。エッジ検出手段1bは、入力手段1aから入力された3次元モデルのエッジを検出する。平坦化手段1cは、エッジ検出手段1bによって検出されたエッジを平坦化す

る。解析処理手段 1 d は、平坦化手段 1 c によってエッジが平坦化された 3 次元モデルに対して有限要素法による解析処理を施す。

【0 0 1 1】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

図 1 は、本発明の動作原理を説明する原理図である。この図に示すように、本発明に係る 3 次元モデル解析装置は、入力手段 1 a、エッジ検出手段 1 b、平坦化手段 1 c、および、解析処理手段 1 d によって構成されおり、入力された 3 次元モデルの強度解析等を行い、解析結果を表示装置 2 に出力する。

【0 0 1 2】

ここで、入力手段 1 a は、処理の対象となる 3 次元モデルを入力する。

エッジ検出手段 1 b は、入力手段 1 a から入力された 3 次元モデルのエッジを検出する。

【0 0 1 3】

平坦化手段 1 c は、エッジ検出手段 1 b によって検出されたエッジを平坦化する。

解析処理手段 1 d は、平坦化手段 1 c によってエッジが平坦化された 3 次元モデルに対して、有限要素法による解析処理を施す。

【0 0 1 4】

次に、以上の原理図の動作について説明する。

いま、3 次元モデル解析装置 1 に対して、図 2 に示すような解析対象の 3 次元モデル 5 のデータが供給されたとすると、入力手段 1 a は供給された 3 次元モデルのデータを入力する。

【0 0 1 5】

エッジ検出手段 1 b は、入力手段 1 a から入力された 3 次元モデルのエッジを検出する。なお、エッジとは図 2 にその一部を拡大して示すように面と面の成す角度が所定の角度（例えば、100 度）以下となる部分をいう。図 2 に示す例では、円柱の上下の面と側面とが接する部分がエッジになっているため、この部分が検出されることになる。

【0016】

平坦化手段1cは、エッジ検出手段1bによって検出されたエッジに対して、平坦化処理を施す。図3は、平坦化処理の一例を示す図である。この例では、3次元モデルのエッジは、曲率半径がRとなるように丸められている。ここで、この曲率半径Rは、解析処理手段1dが解析対象の3次元モデル5を分割する際のVOXELを構成する辺の長さLとの間で $L < R$ の関係を有している必要がある。平坦化手段1cは、このような条件を満たすような曲率半径Rにより、解析対象のエッジを平坦化する。

【0017】

解析処理手段1dは、複数のVOXELに分割された3次元モデル5に対して有限要素解析法を適用し、解析結果である物理量を得る。

以上に示したように、本発明によれば、解析対象のエッジを検出し、平坦化する処理を施すようにしたので、特異点を除却し、正確な解析結果を得ることが可能となる。

【0018】

また、本発明によれば、エッジを丸める際に、その曲率半径RがVOXELの一辺の長さよりも短くなるようにしたので、解析精度を向上させることが可能となる。

【0019】

次に、図4を参照して本発明の実施の形態について説明する。

図4は、本発明の実施の形態の構成例を示すブロック図である。この図に示すように、3次元モデル解析装置10は、CPU (Central Processing Unit) 10a、ROM (Read Only Memory) 10b、RAM (Random Access Memory) 10c、HDD (Hard Disk Drive) 10d、GC (Graphics Card) 10e、I/F (Interface) 10f、および、バス10gによって構成されており、入力装置11等から入力された3次元モデルを解析し、その結果を表示装置12に出力する。

【0020】

ここで、CPU10aは、HDD10d等に格納されているアプリケーション

プログラムに応じて各種演算処理を実行するとともに、装置の各部を制御する。

ROM10bは、CPU10aが実行する基本的なプログラムやデータ等を格納している。

【0021】

RAM10cは、CPU10aの処理対象となるプログラムや、演算途中のデータを一時的に格納する。

HDD10dは、CPU10aが実行するプログラムや、解析対象または解析結果のデータを格納する。

【0022】

GC10eは、CPU10aからの描画命令に従って描画処理を実行し、得られた画像を映像信号に変換して出力する。

I/F10fは、例えば、USB (Universal Serial Bus) 等によって構成されており、入力装置11から入力されたデータの表現形式を、3次元モデル解析装置10の内部形式に適合するように変換する。

【0023】

バス10gは、CPU10a、ROM10b、RAM10c、HDD10d、GC10e、および、I/F10fを相互に接続し、これらの間でデータの授受を可能とする。

【0024】

また、入力装置11は、例えば、キーボードやマウス等によって構成されており、操作者の操作に対応した情報を3次元モデル解析装置10に供給する。

表示装置12は、例えば、CRT (Cathode Ray Tube) モニタによって構成されており、3次元モデル解析装置10の解析結果を表示する。

【0025】

次に、以上の実施の形態の動作について説明する。

いま、解析処理を行うアプリケーションソフトが起動されると、表示装置12には、例えば、図5に示すようなウィンドウ30が表示される。なお、この表示例は、解析対象として円柱が選択された場合を示している。

【0026】

ここで、モデル指定ボタン31は、解析処理の対象となるモデルを指定する場合に操作される。

VOXEL設定ボタン32は、解析対象をVOXELに分割する際の条件を設定する際に操作される。

【0027】

解析条件ボタン33は、有限要素法による解析条件を設定する際に操作される。

解析開始ボタン34は、設定された条件で解析を開始する際に操作される。

【0028】

ボタン35～37は、ウィンドウ30をそれぞれ縮小、拡大、終了する際に操作される。

表示領域38は、解析対象となる3次元モデルが表示される。この例では、円柱である解析対象40が表示されている。

【0029】

このような画面において、入力装置11に連動するポインタ50によってVOXEL設定ボタン32が操作されたとすると、図6に示すようなサブウィンドウ60が表示される。

【0030】

このサブウィンドウ60では、VOXELに係る各種パラメータがテキストボックス62～64に入力可能とされている。ここで、 θ はエッジを検出する際の基準となる角度であり、これ以下の角度を有する接合面がある場合には、これをエッジとして検出する。

【0031】

RAは、VOXELの一辺の長さLと、エッジを丸める際の曲率半径Rとの比 L/R を示す。

L0は、VOXELの一辺の長さの初期値である。即ち、解析処理においては、VOXELの分割数を順次増加させながら演算を行うが、その最初の処理におけるVOXELの値である。

【0032】

このような画面において、所定の値が入力された後、設定ボタン 6 5 が操作されると、CPU 1 0 a は、入力された値を RAM 1 0 c の所定の領域に格納する。

【 0 0 3 3 】

次に、操作者は、解析条件ボタン 3 3 を操作して解析条件を設定する。なお、この設定の内容としては、例えば、拘束位置、荷重印加位置、材料物性値などである。

【 0 0 3 4 】

解析条件の設定が終了し、図 7 に示すように、解析開始ボタン 3 4 が操作されたとすると、CPU 1 0 a は、解析対象 4 0 の 3 次元モデルデータからエッジを検出し、検出されたエッジが図 6 で指定された θ 以下であるか否かを判定する。その結果、 θ 以下である場合には、該当するエッジであるとして、丸め処理を施す。

【 0 0 3 5 】

即ち、該当するエッジに対しては、図 6 に示す画面において入力された RA と L 0 とを乗算して得られた曲率半径 $R (= RA \times L 0)$ により、丸め処理を施す。

【 0 0 3 6 】

いまの例では、図 8 に示すように、円柱の上部と下部に位置するエッジ（上下の面と側面とによって形成されるエッジ）に対して丸め処理が施されることになる。

【 0 0 3 7 】

丸め処理が完了すると、CPU 1 0 a は、図 6 において設定された L 0 （VOXEL の一辺の長さの初期値）を参照して、解析対象 4 0 を分割する。その結果、図 9 に示すように、解析対象 4 0 が微小な 6 面体によって分割されることになる。

【 0 0 3 8 】

分割が終了すると、CPU 1 0 a は、HDD 1 0 d から有限要素法に基づく解析プログラムを読み出し、前に設定された解析条件に応じて、解析対象 4 0 に対

して解析処理を施す。その結果、目的の物理量を得る。

【0039】

ところで、有限要素法では、分割数に応じて解析精度が向上することが一般的に知られている。しかしながら、分割数が多くなればなるほど解析精度が向上するが、計算に時間を要するので、従来においては解析精度と計算時間との双方を比較考量して分割数が定められていた。この様子を図10に示す。この図において、横軸は解析対象の分割数を示している。縦軸は解析の結果得られる解析値（この例では最大主応力）を示している。また、破線で示す材料力学理論値は真値を示している。従来においては、例えば、図中矢印で示す部分が計算値とされていた。

【0040】

一方、本実施の形態においては、計算値と分割数との関係は、図11に示すような関係を有することが実験結果から分かっている。即ち、計算値のグラフは単調増加関数ではなく、一部に極大値を有する関数となっており、また、その極大値は、真値に非常に接近した場合に出現するので、本実施の形態ではこの極大値を検出して計算値としている。

【0041】

即ち、CPU10aは、一回目の解析処理が終了すると、分割数を所定量だけ増加し、解析処理を再度実行する。そして、このような処理を繰り返し実行し、今回得られた解析値から前回得られた解析値を減算した値の符号が反転した場合には、その値を目的とする計算値とする。

【0042】

なお、その際、新たな分割数に対応して丸めの曲率半径を変更するようにしてもよい。即ち、分割数が増え変わると、VOXELの一辺の長さLが短くなるので、 $R = RA \times L$ の関係から曲率半径Rも小さくなる。そこで、新たなLに応じてRを求め、そのRに応じて再度エッジの丸め処理を施し、解析を行うようにしてもよい。そのようにすることで、更に精度が高い解析結果を得ることが可能となる。

【0043】

以上の実施の形態によれば、解析対象のエッジを検出し、丸め処理を施すようにしたので、解析対象から特異点を除却し、解析の精度を向上させることができる。

【0044】

また、本実施の形態では、分割数を増加した場合における計算値の極大値を検出し、これを求める目的とする計算値とするようにしたので、より真値に近い値を迅速に得ることが可能となる。

【0045】

次に、図12を参照して、以上の機能を実現するためのフローチャートについて説明する。このフローチャートが開始されると、以下の処理が実行される。

【S1】CPU10aは、対象となる3次元モデルの入力を受ける。

【S2】CPU10aは、特異点検出の基準となる θ の入力を受ける。即ち、CPU10aは、図6に示すサブウィンドウ60から θ の入力を受ける。

【S3】CPU10aは、VOXELの一辺の長さLと曲率半径Rとの関係を示すパラメータRAの入力を受ける。即ち、CPU10aは、図6に示すサブウィンドウ60からRAの入力を受ける。

【S4】CPU10aは、VOXELの一辺の長さLの初期値L0の入力を受ける。即ち、CPU10aは、図6に示すサブウィンドウ60からL0の入力を受ける。

【S5】CPU10aは、解析条件の設定を受ける。即ち、CPU10aは、図6に示す解析条件ボタン33が操作されて設定された条件の入力を受ける。

【S6】CPU10aは、ステップS2において入力を受けた θ を参照し、これ以下の角度を有するエッジを検出する。

【S7】CPU10aは、検出したエッジに対して、RAおよびL（初回の処理ではL0）から算出される曲率半径Rにより丸め処理を施す。

【S8】CPU10aは、Lの長さを一辺とするVOXELによって解析対象を分割する。

【S9】CPU10aは、分割された解析対象に対して有限要素法による解析処理を施す。

【S10】CPU10aは、Lに対して所定の値 a ($0 < a < 1$) を乗算して得られた値を新たなLとする。

【0046】

なお、Lから所定の値を減算して得られた値を新たなLとするようにしてもよい。

【S11】CPU10aは、今回の計算によって得られた値から前回の計算によって得られた値を減算し、得られた値を ΔP に代入する。

【S12】CPU10aは、 ΔP の値が負の値であるか否かを判定し、負の値である場合にはステップS13に進み、それ以外の場合にはステップS7に戻って同様の処理を繰り返す。

【0047】

即ち、計算結果が極大値を越えた場合には、 ΔP は負の値となることから、その場合にはステップS13に進む。

【S13】CPU10aは、解析結果を出力する。

【0048】

以上の処理によれば、前述した機能を実現することが可能となる。

なお、以上の実施の形態においては、エッジを平坦化する際に丸め処理を施すようにしたが、例えば、曲面ではなく平面によって平坦化することも可能である。その場合には、例えば、曲率半径Rの円がエッジに接する点を結んだ直線を含む平面によって平坦化することができる。

【0049】

また、以上の実施の形態では、応力解析を例に挙げて説明を行ったが、本発明はこのような場合のみに限定されるものではないことはいうまでもない。

最後に、上記の処理機能は、コンピュータによって実現することができる。その場合、3次元モデル解析装置が有すべき機能の処理内容は、コンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録されたプログラムに記述されており、このプログラムをコンピュータで実行することにより、上記処理がコンピュータで実現される。コンピュータで読み取り可能な記録媒体としては、磁気記録装置や半導体メモリ等がある。市場へ流通させる場合には、CD-ROM (Compact Disk Read Onl

y Memory)やフロッピーディスク等の可搬型記録媒体にプログラムを格納して流通させたり、ネットワークを介して接続されたコンピュータの記憶装置に格納しておき、ネットワークを通じて他のコンピュータに転送させたりすることもできる。コンピュータで実行する際には、コンピュータ内のハードディスク装置等にプログラムを格納しておき、メインメモリにロードして実行する。

【0050】

【発明の効果】

以上説明したように本発明では、3次元モデルの物理的な特性を解析する3次元モデル解析装置において、処理の対象となる3次元モデルを入力する入力手段と、前記入力手段から入力された3次元モデルのエッジを検出するエッジ検出手段と、前記エッジ検出手段によって検出されたエッジを平坦化する平坦化手段と、前記平坦化手段によってエッジが平坦化された3次元モデルに対して、有限要素法による解析処理を施す解析処理手段と、を有するようにしたので、解析精度を向上させることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の動作原理を説明する原理図である。

【図2】

解析対象が有するエッジの一例を示す図である。

【図3】

解析対象のエッジを丸め処理した様子を示す図である。

【図4】

本発明の実施の形態の構成例を示すブロック図である。

【図5】

図4の表示装置に表示される画面の一例を説明する図である。

【図6】

図4の表示装置に表示される画面の一例を説明する図である。

【図7】

図4の表示装置に表示される画面の一例を説明する図である。

【図 8】

エッジ処理が施された後の解析対象の表示例である。

【図 9】

V O X E L 分割された後の解析対象の表示例である。

【図 1 0】

従来の有限要素法における分割数と計算値との関係を示す図である。

【図 1 1】

本実施の形態における分割数と計算値との関係を示す図である。

【図 1 2】

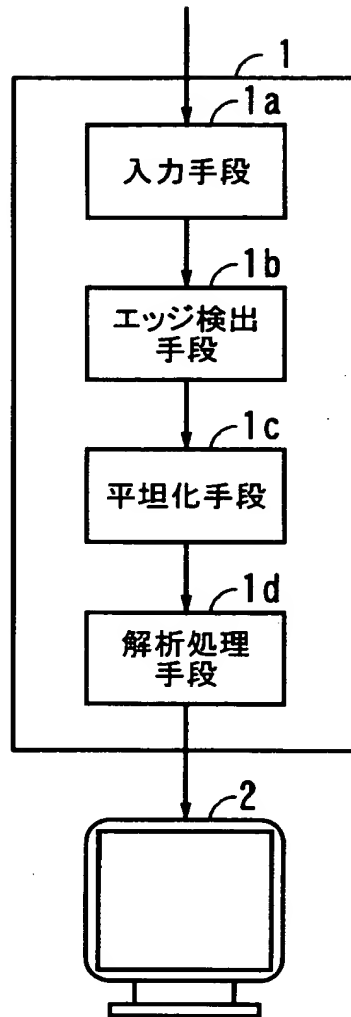
図 4 に示す実施の形態において実行される処理の一例を説明するフローチャートである。

【符号の説明】

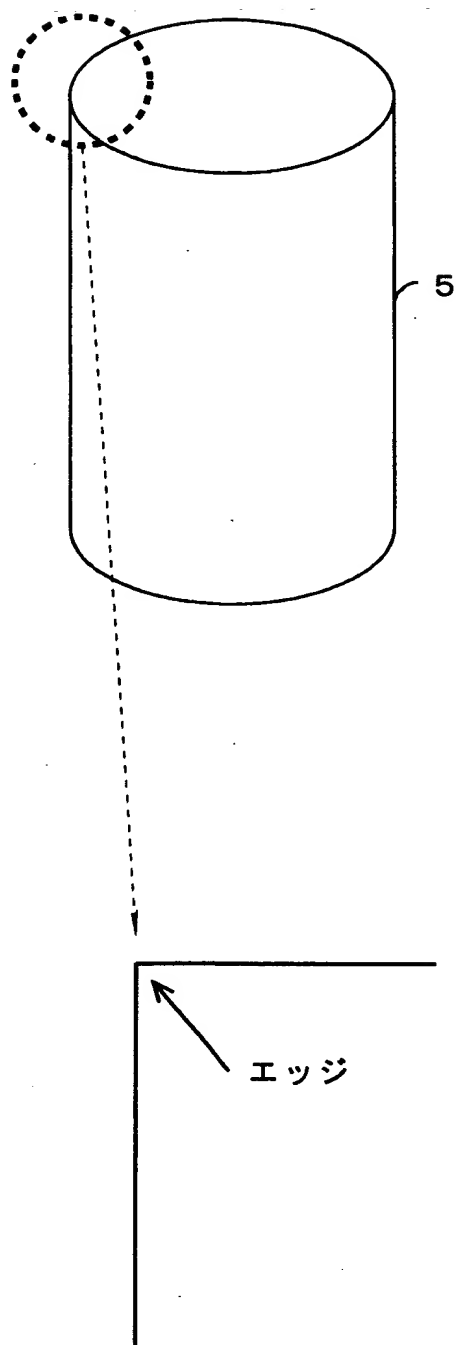
- 1 3 次元モデル解析装置
 - 1 a 入力手段
 - 1 b エッジ検出手段
 - 1 c 平坦化手段
 - 1 d 解析処理手段
- 2 表示装置
- 1 0 3 次元モデル解析装置
 - 1 0 a C P U
 - 1 0 b R O M
 - 1 0 c R A M
 - 1 0 d H D D
 - 1 0 e G C
 - 1 0 f I / F
 - 1 0 g バス

【書類名】 図面

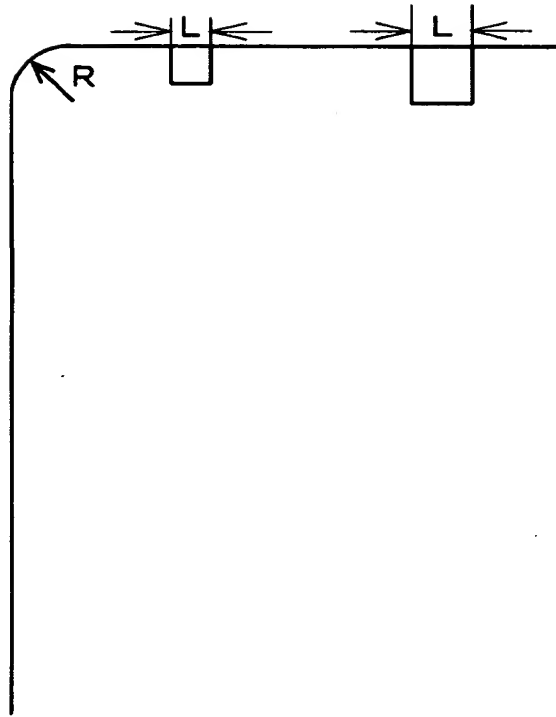
【図 1】



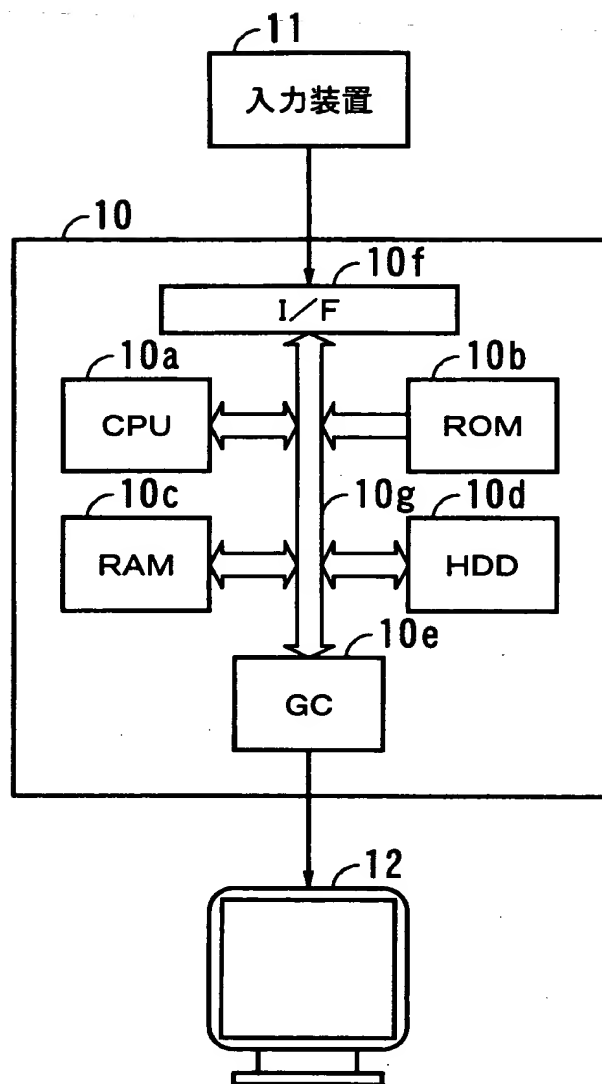
【図 2】



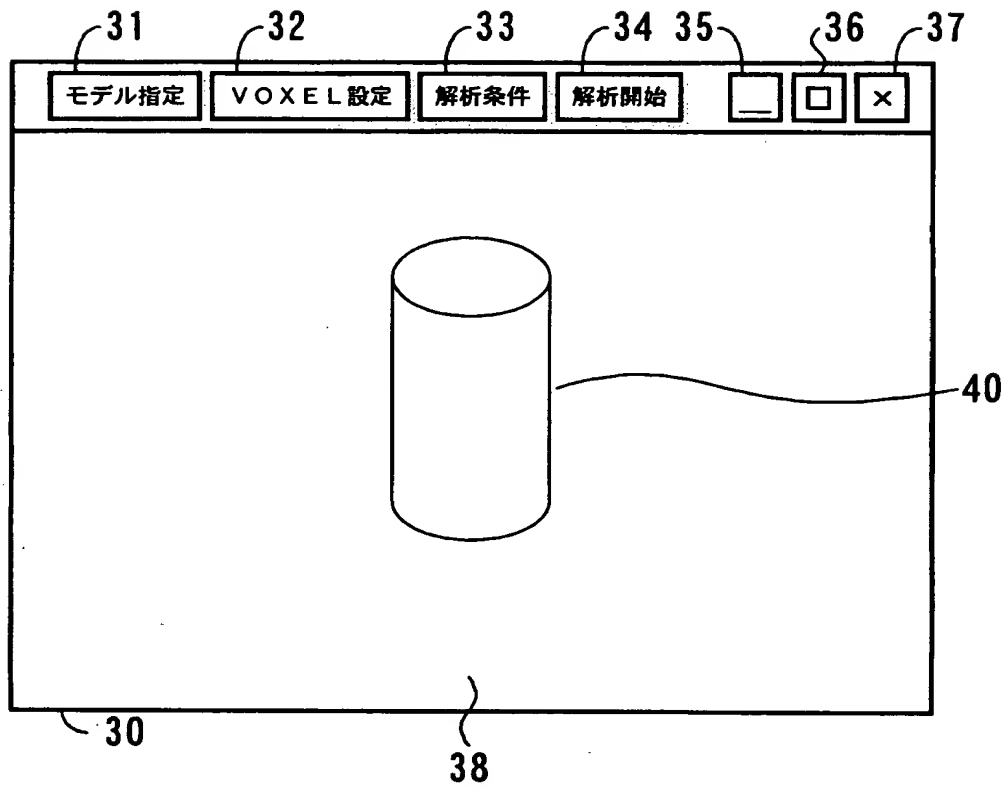
【図 3】



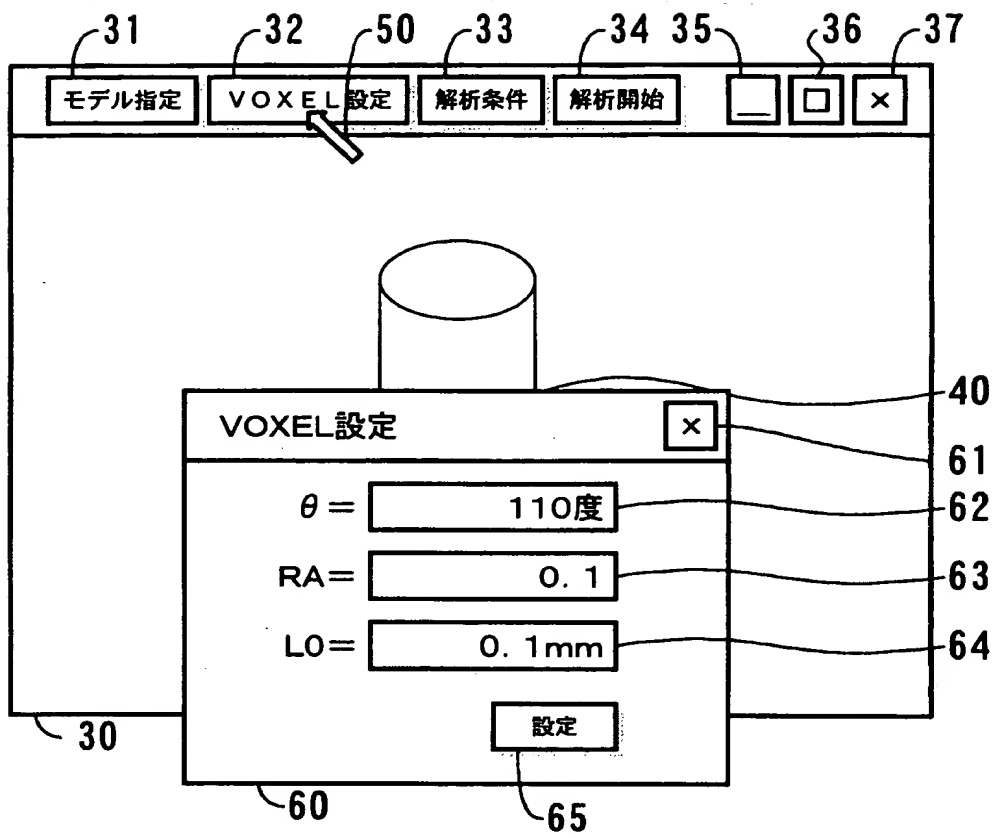
【図4】



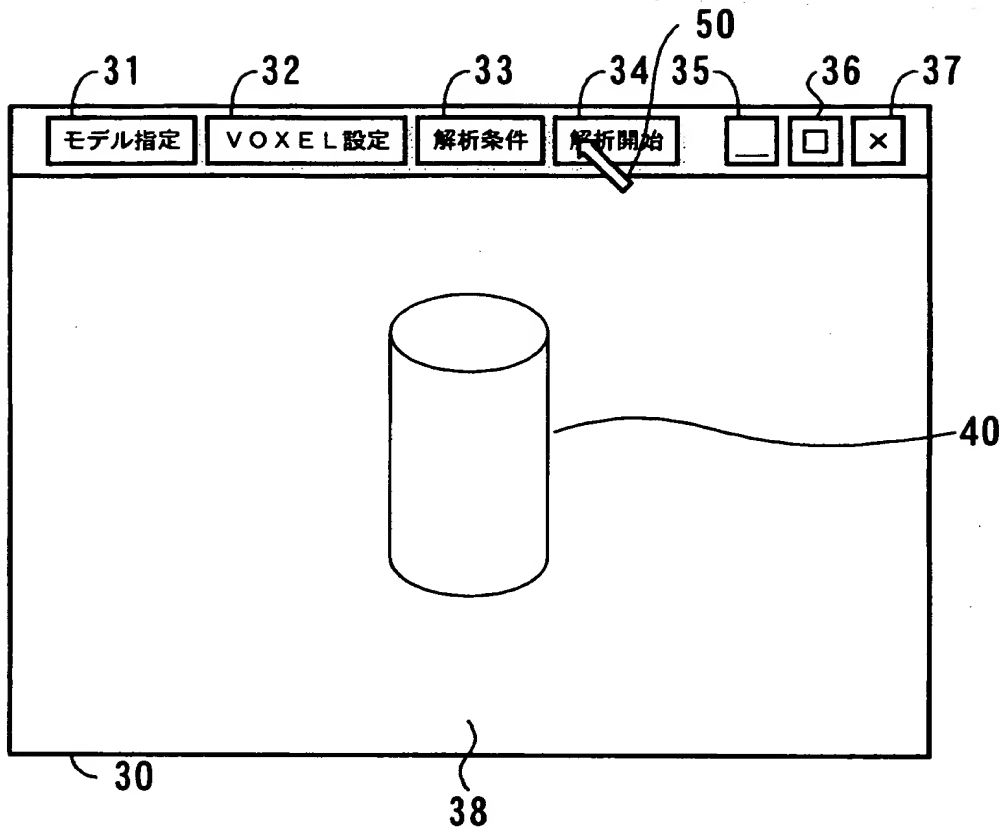
【図 5】



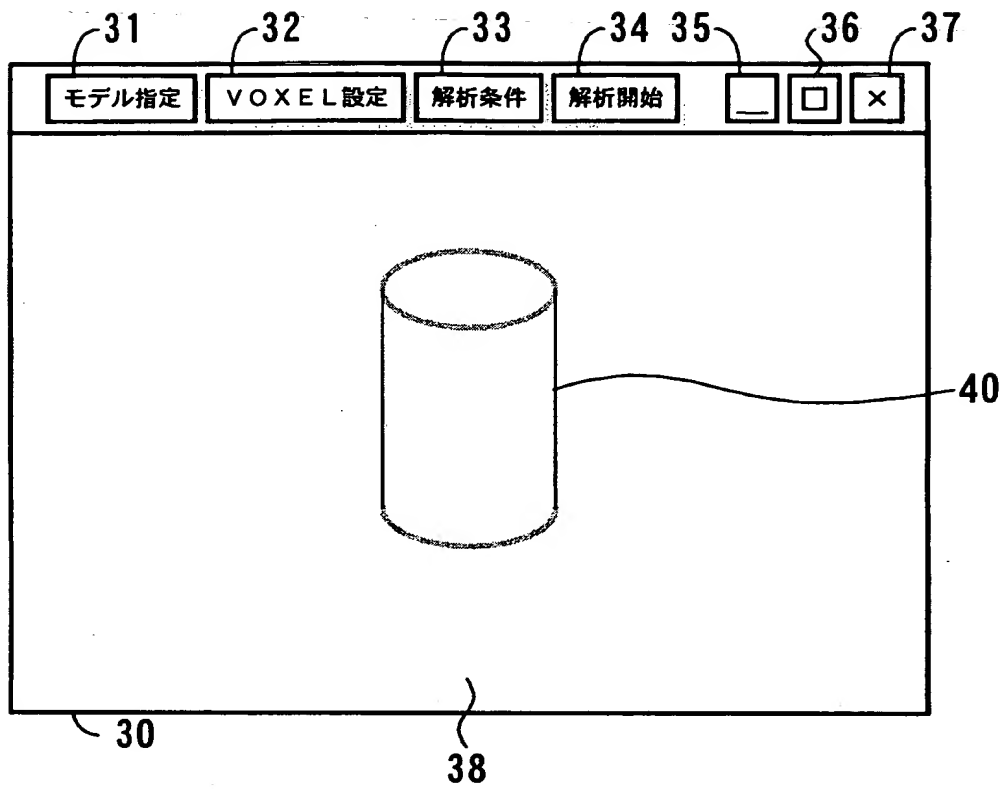
【図 6】



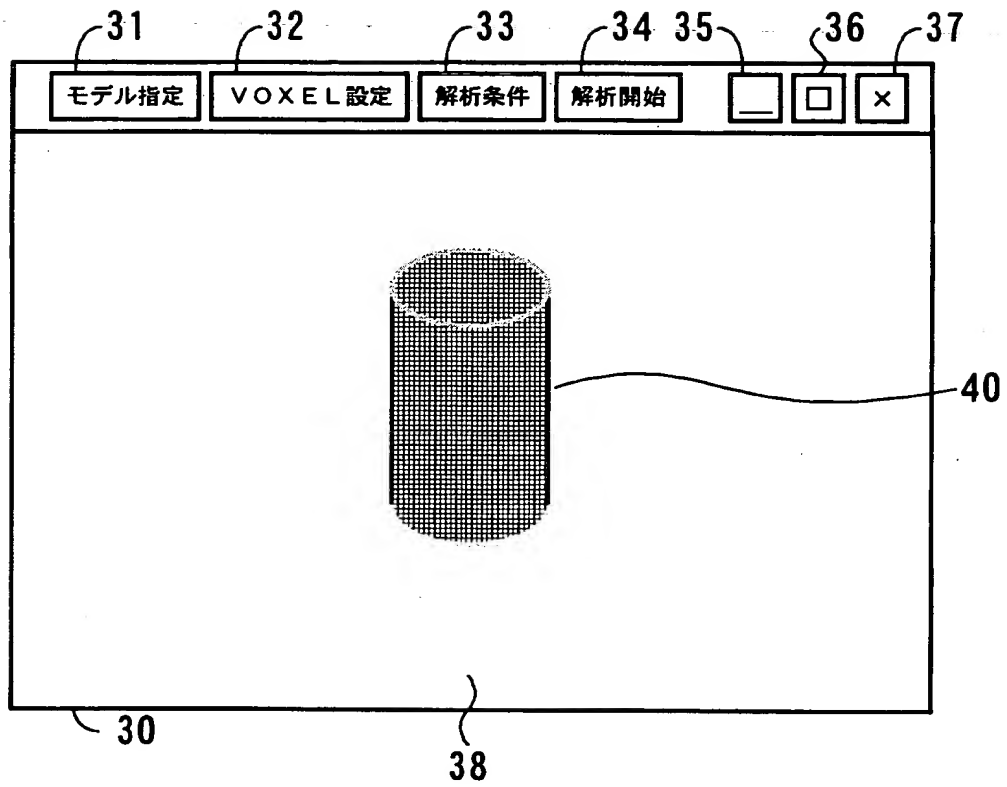
【図 7】



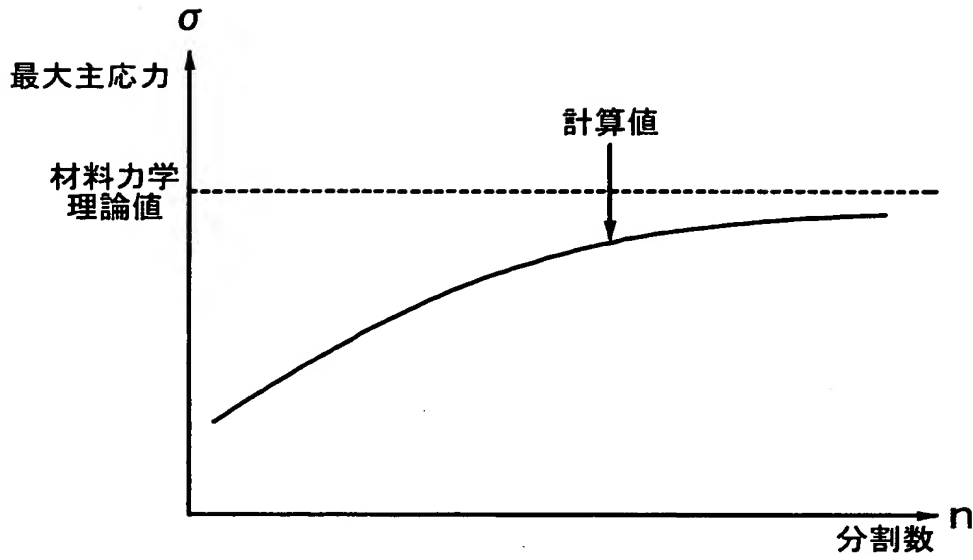
【図 8】



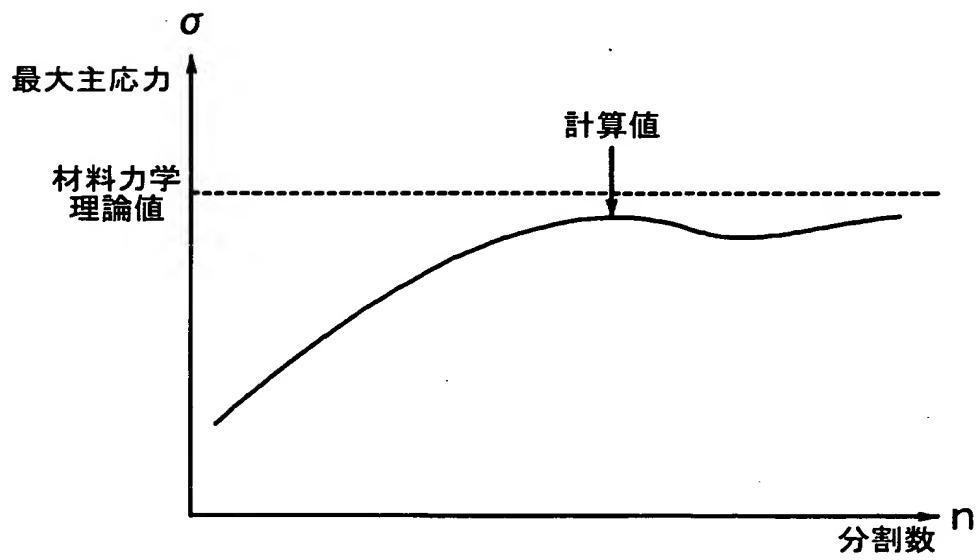
【図 9】



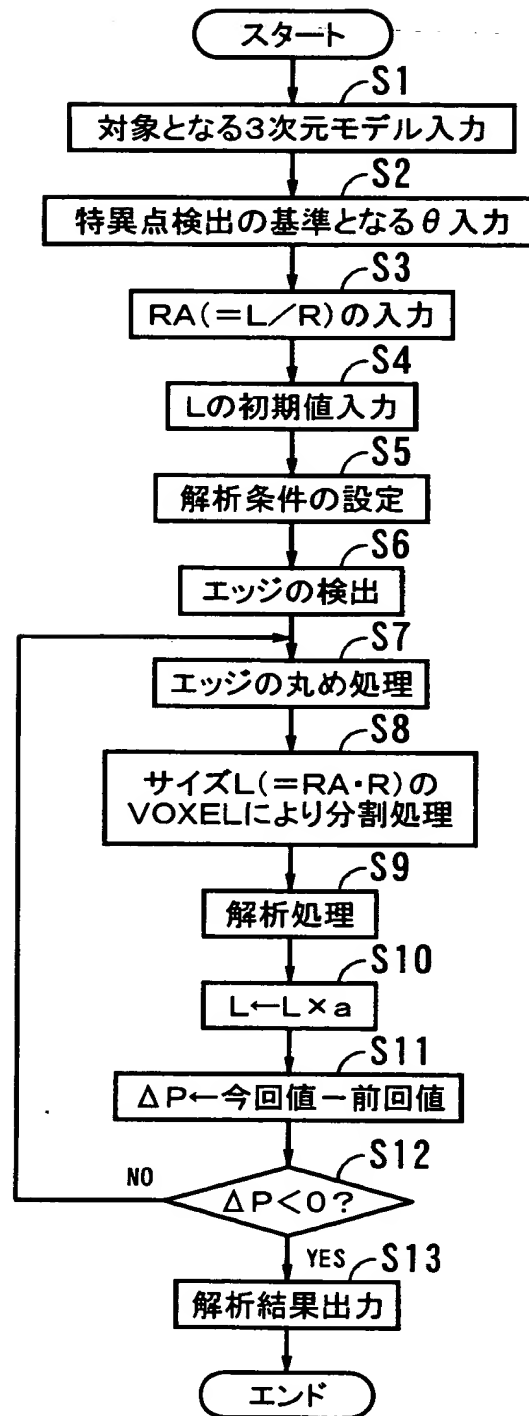
【図 10】



【図 11】



【図 12】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 有限要素法においてエッジを有する対象物の解析精度を向上させる。

【解決手段】 入力手段 1 a は、処理の対象となる 3 次元モデルを入力する。エッジ検出手段 1 b は、入力手段 1 a から入力された 3 次元モデルのエッジを検出する。平坦化手段 1 c は、エッジ検出手段 1 b によって検出されたエッジを所定の曲率半径を有する曲面によって平坦化する。解析処理手段 1 d は、平坦化手段 1 c によってエッジが平坦化された 3 次元モデルに対して有限要素法による解析処理を施す。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [399101348]

1. 変更年月日 1999年 9月20日

[変更理由] 新規登録

住 所 長野県長野市大字鶴賀字鍋屋田1403番地3
氏 名 株式会社富士通長野システムエンジニアリング